

УДК 621.923

Р.М. Стрельчук, канд. техн. наук, Харьков, Украина

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЗЕРЕН МОНОКАРБИДА ВОЛЬФРАМА ПОСЛЕ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Запропоновано модель формування напружено-деформованого стану в шліфованій пластині. В результаті чисельної реалізації моделі виявлені параметри і умови алмазного-іскрового шліфування різальних інструментів, оснащених твердосплавними пластинами з нанорозмірних зерен монокарбиду вольфраму із забезпеченням гарантованої якості поверхневого шару.

Ключові слова: алмазно-іскрове шліфування, напружено-деформований стан, якість поверхневого шару твердосплавних різальних інструментів з нанорозмірних зерен монокарбиду вольфраму, знос різального інструменту

Предложена модель формирования напряженно-деформированного состояния в шлифуемой пластине. В результате численной реализации модели выявлены параметры и условия алмазно-искрового шлифования режущих инструментов, оснащенных твердосплавными пластинами из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама с обеспечением гарантированного качества поверхностного слоя.

Ключевые слова: алмазно-искровое шлифование, напряженно-деформированное состояние, качество поверхностного слоя твердосплавных режущих инструментов из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама, износ режущего инструмента

A model is proposed for the formation of a stress-strain state in a grinding plate. As a result of the numerical realization of the model, the parameters and conditions for diamond-spark grinding of cutting tools equipped with carbide-tipped plates of nanoscale grains of tungsten monocarbide with guaranteed quality of the surface layer were revealed.

Keywords: diamond-spark grinding, stress-strain state, quality of the surface layer of carbide cutting tools from nanoscale grains of tungsten monocarbide, wear of the cutting tool

Введение

Качественно сформированная в процессе формообразования режущая кромка инструмента оказывает значительное влияние на процесс резания, износ режущего инструмента и качество обработанной поверхности изделий. Для эксплуатационной надежности и работоспособности режущего инструмента большое значение имеет оптимальная микрогеометрия поверхностей режущей части инструментов. Особо важное значение имеет состояние режущей кромки, работающей, как известно, в условиях контактного нагружения рабочей поверхности. Поэтому к качественной обработке режущих инструментов предъявляются повышенные требования.

Состояние вопроса и постановка задачи

Анализ технологии изготовления твердосплавных режущих пластин инструмента с заданной геометрией показал, что при подготовке инструмента к работе важно качество формирования режущей кромки, сведение к минимуму дефектов, возникающих на ней и непосредственно в ее близи, обеспечение требуемого уровня остаточных напряжений на поверхности и в приповерхностных слоях [1, 2]. Необходимо изучение закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния в твердосплавных пластинах из наноразмерных зерен монокристалла вольфрама при алмазно-искровом шлифовании [3]. Смоделируем и исследуем процесс алмазно-искрового шлифования на примере обработки твердосплавных пластин из наноразмерных зерен монокристалла вольфрама с заданной геометрией для точения закаленных сталей.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим исходные данные исследования. Шлифуемая режущая пластина, имеющая форму клина с углом заострения β , закреплена неподвижно. Алмазный шлифовальный круг (в данном случае чашечно-конический) вращается вокруг своей оси с постоянной скоростью V (м/с). Кроме того, шлифовальный круг поступательно движется в сторону шлифуемой пластины с постоянной скоростью, равной величине продольной подачи S_{np} (мм/мин). В процессе алмазно-искрового шлифования с поверхности режущей пластины снимается слой материала равный величине поперечной подачи S_{nop} (мм/дв.ход). В результате кинематического воздействия алмазного инструмента на шлифуемую пластину в зоне обработки возникают силы резания, которые измеряются с высокой точностью. Линейные скорости смещения поверхностного слоя материала в месте контакта обрабатываемой пластины и шлифовального круга зависят от радиальных размеров круга.

Примем некоторые допущения для оценки напряженно-деформированного состояния. Материал режущей пластины считаем однородным, сплошным и анизотропным. В процессе обработки он испытывает незначительные деформации. Разрушение материала считаем хрупким, т.е. при превышении предела прочности происходит отслаивание материала. Силы резания, действующие на пластину в процессе обработки, распределены равномерно по передней поверхности вдоль режущей кромки. Допускаем, что режущая кромка является абсолютно острой (радиус округления равен нулю) и внешние силы распределены равномерно по ширине пластины, а задняя поверхность не нагружена.

Упрощенно процесс шлифования рассматривают как результат воздействия на обрабатываемую поверхность движущегося индентора (алмазного зерна). В действительности поверхность алмазного круга

представляет собой распределенные по объему зерна примерно одного размера и сами зерна геометрически отличаются друг от друга. В результате каждое зерно в круге снимает малую часть материала. Допущение об однородной поверхности круга может приводить к завышенным значениям параметра качества поверхностного слоя режущей кромки. Тем не менее, распределение дефектов в режущей кромке должно быть подобно тому, что реализуется на практике. Уровень остаточных напряжений и степень дефектов твердых сплавов в зоне шлифования зависят от большого количества технологических и физических факторов. Определение рационального сочетания параметров процесса шлифования зависит не только от физико-механических свойств обрабатываемого материала, но и конкретных геометрических размеров изделия.

Для исследования формирования напряженно-деформированного состояния в зоне шлифования пластины из твердого сплава марки ВолКар была использована вычислительная модель, разработанная в рамках подхода механики повреждаемых сред [4]. Модель позволяет оценить давления, интенсивность напряжений и состояние, возникающие в материале пластины в процессе алмазно-искрового шлифования. Для численной реализации модели, в качестве примера, исследован твердый сплав из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама марки ВолКар. Данные о механических характеристиках сплава ВолКар взяты в литературе [5].

Модельные образцы подвергались рентгеновскому исследованию на дифрактометре ДРОН 2.0 в фильтрованном излучении железного анода. Дифрактограммы регистрировались поточно через $0,1^\circ$ с экспозицией в каждой точке $10''$. Размер областей когерентного рассеяния оценивался по уширению линии (001) по формуле Селякова-Шеррера. Анализ напряженного состояния проводился с помощью $\sin^2\psi$ -метода. Для съемок было выбрана линия (112) на угле $2\theta \approx 145^\circ$. Для каждого образца было проведена перпендикулярная съемка и наклонные съемки при $\psi = \pm 30^\circ$ и $\pm 50^\circ$. Уровень напряжений определяли по формуле:

$$\sigma = \frac{E}{1+\mu} \cdot \frac{d_\psi - d_\perp}{d_\perp} \cdot \frac{1}{\sin^2\psi}, \quad (1)$$

где E – модуль нормальной упругости; μ – коэффициент Пуассона; d_ψ , d_\perp – межплоскостные расстояния, измеренные под углом и по нормали к поверхности образца; ψ – угол между нормалью к поверхности образца и соответствующей нормалью к отражающим плоскостям. В расчетах приняты макроскопические значения упругих постоянных: $E=720$ ГПа, $\mu=0,18$. Для характеристики состояния поверхностного слоя проводился качественный фазовый анализ, оценивался размер областей когерентного рассеивания и уровень (величина и знак) остаточных макронапряжений.

Начальные условия выбраны в предположении об отсутствии во всем материале пластины внутренних остаточных напряжений и равномерном распределении температуры.

Моделирование проводилось для граничных условий, имитирующих взаимодействие обрабатываемой пластины с алмазным кругом. Для этого была построена расчетная область, соответствующая обрабатываемой пластине из твердого сплава ВолКар. Габаритные размеры пластины в расчетной модели были приняты равными: высота $c = 3$ мм, ширина пластины $a = 12$ мм, длина пластины $b = 12$ мм, угол заострения $\beta = 80^\circ$. Расчетные значения интенсивности сдвиговых напряжений, возникающих при шлифовании с заданным распределением по обрабатываемой поверхности прижимающего усилия резания (10 Н, 100 Н, 300 Н), линейной скорости сдвига материала с обрабатываемой поверхности (15 м/с, 25 м/с, 45 м/с), температуры (430 °С, 1000 °С) в зоне шлифования.

Решение вычислительной модели выполнено на примере твердого сплава ВК6 с помощью метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе AUTODYN TM / ANSYS Workbench -13.

На рис. 1, а, б показаны изменения во времени расчетных значений интенсивности сдвиговых напряжений в точках 1, 2, 3, а также формирующееся квазистационарное поле этого параметра при скорости сдвига $V = 45$ м/с, температуре 1000 °С и прижимающих усилиях 10 и 100 Н. При прижимающих усилиях 300 Н (рис. 1, в) поле интенсивности сдвиговых напряжений нестационарно, что свидетельствует о развитии повреждений на глубине свыше 1 мм с последующим разрушением пластины.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в зоне режущей кромки пластины у поверхности шлифования сдвиговые напряжения достаточны для развития пластических деформаций. Развитие пластических деформаций приводит к релаксации сдвиговых напряжений и обуславливает осциллирующий характер их изменения (см. рис. 1). С удалением от поверхности режущей кромки на величину, превышающую вдвое толщину удаляемого материала, напряжения постепенно уменьшаются и не представляют опасности с точки зрения развития пластических деформаций и повреждений материала. Проведена оценка качества поверхностного слоя твердосплавной пластины ВолКар при различном сочетании сил резания, скорости и температуры. Получены модели распределения давления и интенсивности напряжений в теле исследуемой пластины.

Наибольший практический интерес имеет распределение значений параметра поврежденности вблизи режущей кромки. Получены модели распределения поврежденности в теле исследуемой пластины. Кроме того, проведено оптическое исследование участков поверхности твердосплавных пластин после алмазно-искрового шлифования в тех же условиях [3]. Сопоставление данных, полученных в результате экспериментальных исследований и при численной реализации модели, выявило расхождения, не превышающие 10...15 %, что позволяет сделать вывод об адекватности полученной модели.

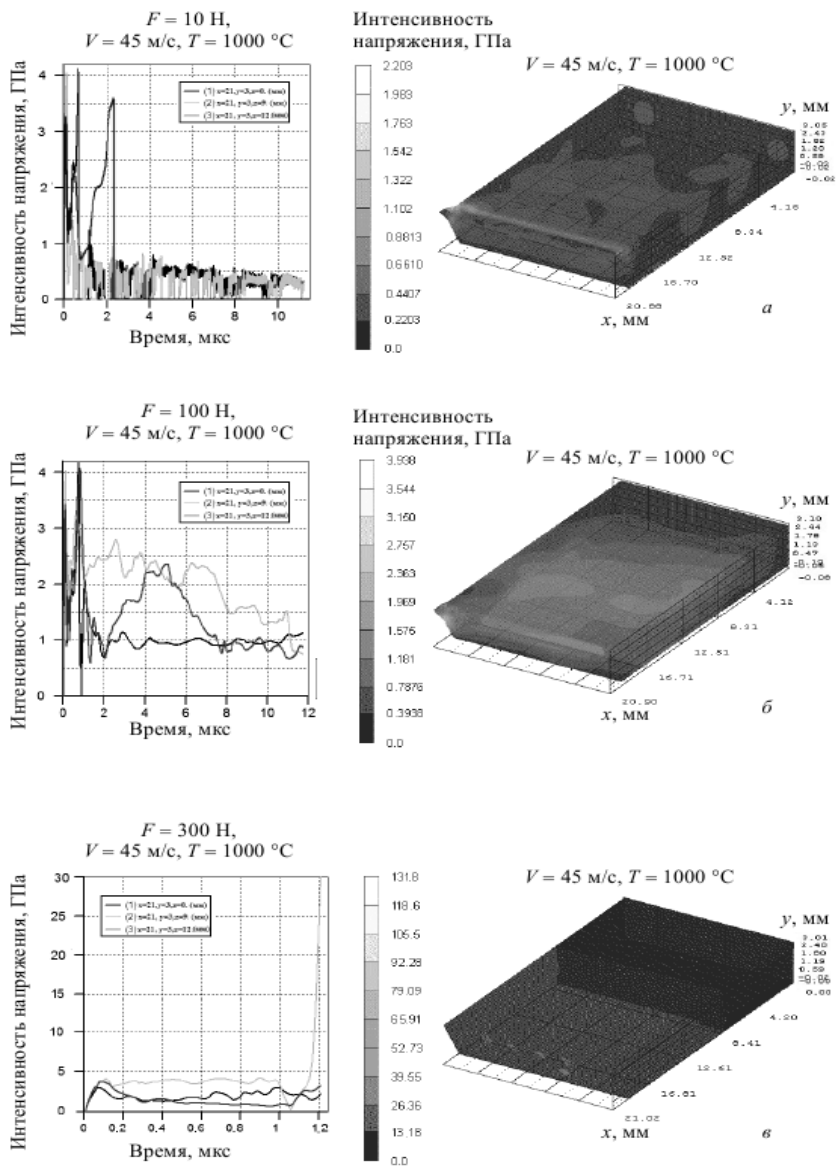


Рисунок 1 – Расчетные значения интенсивности напряжений

Выводы

Анализ результатов исследования позволил сделать следующие выводы. Предложена адекватная физико-математическая модель процессов деформации, повреждения и разрушения материала типа ВолКар при шлифовании алмазным кругом, позволяющая проводить оценку формирующегося напряженно-деформированного состояния в обрабатываемой пластине. Расчетная модель реализована на примере алмазно-искрового шлифования твердосплавной пластины марки ВолКар с заданными геометрическими параметрами, характерными для режущего инструмента, предназначенного для обработки изделий из закаленных сталей. Модель может быть адаптирована и для других композиционных высокопрочных и труднообрабатываемых материалов. Таким образом, имеется возможность оценить напряженно-деформированное состояние при различных сочетаниях алмазного инструмента и обрабатываемого материалов.

Список использованных источников: 1. Фуks М.Я., Беззубенко Н.К., Свердлова Б.М. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и элборово́й обработки. – К.: Вища школа, 1979. – 160 с. 2. Шульман П. А. и др. Качество поверхности, обработанной алмазами. – Киев, «Техніка». – 1972. – 148 с. 3. Колупаева З.И. Исследование и анализ взаимосвязи остаточных макронапряжений и износостойкости инструментов из наноструктурного твердого сплава «ВолКар» после алмазно-искрового шлифования / З.И. Колупаева, Р.М. Стрельчук, М.Д. Узунян // Резание и инструмент в технологических системах. – 2010. – Вып. 78. – С. 85-91. 4. Стрельчук Р.М. Физическое моделирование напряженно-деформированного состояния твердосплавных инструментов из наноразмерных зерен монокрибида вольфрама при шлифовании / Р.М. Стрельчук // Резание и инструмент в технологических системах. – 2016. – Вып. 86. – С. 160-169. 5. Геворкян Э. С. Плотные и пористые конструкционные материалы из нано и субмикронных порошков WC, Al₂O₃ и SiC полифункционального назначения. Дисс. докт. техн. наук / Э. С. Геворкян – Харьков, 2007 – 276 с.

Bibliography (transliterated): 1. Fuks M.Ya., Bezzubenko N.K., Sverdlova B.M. Sostoyaniye poverhnostnogo sloya materialov poslealmaznoy i elborovoy obrabotki. – K.: Vischa shkola, 1979. – 160 s. 2. Shulman P. A. i dr. Kachestvo poverhnosti, obrabotannoyalmazami. Kiev, «Tehnika», 1972, 148 s. 3. Kolupaeva Z.I. Issledovanie i analiz vzaimosvyazi ostatochnyih makronapryazheniy i iznosostoykosti instrumentov iz nanostrukturnogo tverdogo splava «VolKar» poslealmazno-iskrovogoshlifovaniya / Z.I. Kolupaeva, R.M. Strelchuk, M.D. Uzunyan // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. – 2010. – Vyip. 78. – S. 85-91. 4. Strelchuk R.M. Fizicheskoe modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya tverdosplavnyih instrumentov iz nanorazmernyih zeren monokarbiida volframa pri shlifovanii / R.M. Strelchuk // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. – 2016. – Vyip. 86. – S. 160-169. 5. Gevorkyan E. S. Plotnyie i poristyie konstruktсионnye materialyi iz nano i submikronnyih poroshkov WC, Al₂O₃ i SiC polifunktsionalnogo naznacheniya. Diss. dokt. tehn. nauk / E. S. Gevorkyan – Harkov, 2007 – 276 s.